

# **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 45 ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО БОРОМЕДНЕНИЯ**

***Ващук Е.С.***

*Руководитель – проф., д.ф.-м.н. Громов В.Е.*

*Научный консультант – доц., д.т.н. Будовских Е.А.*

ГОУ ВПО Сибирский государственный индустриальный университет,  
г. Новокузнецк  
vaschuk@bk.ru

Электровзрывное легирование (ЭВЛ) – способ модификации структурно-фазовых состояний поверхностных слоев металлов и сплавов, суть которого заключается в электрическом взрыве проводника, формировании из продуктов взрыва многофазной плазменной струи, оплавлении ею поверхности и насыщении расплава продуктами взрыва с последующей самозакалкой. Плазменная струя служит, как для нагрева поверхности, так и для ее легирования. Особенности струи является ее многофазный состав, включающий конденсированные частицы продуктов взрыва фольги и порошка, а также неоднородное строение, обусловленное тем, что конденсированные частицы продуктов взрыва отстают от плазменного компонента и располагаются преимущественно в тылу струи. Обработка позволяет сконцентрировать за короткий промежуток времени ( $10^{-4}$  с) высокую плотность мощности (порядка  $10^9$  Вт/м<sup>2</sup>) в тонких (порядка 10 мкм) поверхностных слоях материалов, что делает возможным оплавление и легирование поверхностных слоев за малое время воздействия (100 мкс) без выплеска расплава [1]. Целью настоящей работы является изучение влияния поглощаемой плотности мощности и массы порошка бора на микротвёрдость поверхностных слоёв стали 45 после электровзрывного боромеднения.

Образцы для исследования представляли собой цилиндры диаметром 20 мм, высотой 5 мм из отожженной стали 45. Исследования легированных слоев поверхности стали проводили стандартными методами оптической микроскопии (Неофот-21), рентгеноструктурного анализа – дифрактометра ARL X'TRA, измерениями микротвёрдости (ПМТ-3).

Легирование проводили в режимах, которые обеспечивали поглощаемую плотность мощности  $q$ , равную 5,5; 6,5; 7,5 ГВт/м<sup>2</sup>. Взрываемые медные фольги имели толщину 20 мкм и массу 100 мг. В области взрыва размещали порошок аморфного бора массой 20 мг и 60 мг. Это обеспечивало соотношение атомной концентрации бора и меди в струе равное 1,2 : 1 и 3,6 : 1.

Рентгеноспектральный анализ поверхности электровзрывного боромеднения стали 45 показал наличие фазы Fe<sub>23</sub>(C, B)<sub>6</sub>, FeB, Fe<sub>2</sub>B. Ранее при электровзрывном карбоборировании технически чистого железа

образования фазы  $\text{Fe}_{23}(\text{C}, \text{B})_6$  не наблюдалось. Известно, что при затвердевании из расплава выделение  $\text{Fe}_{23}(\text{C}, \text{B})_6$  в равновесных условиях не происходит. В данной работе эта фаза образуется в условиях закалки расплавленного слоя. Полученные результаты свидетельствуют, что упрочнение происходит вследствие формирования градиентной мелкодисперсной структуры, включающей твердые растворы и бориды  $\text{FeB}$ ,  $\text{Fe}_2\text{B}$ ,  $\text{Fe}_{23}(\text{C}, \text{B})_6$ ,  $\text{B}_4\text{C}$ .

Световая микроскопия косого шлифа в режиме  $q = 6,5 \text{ ГВт/м}^2$  показала, что толщина зоны легирования составляет примерно 12...13 мкм. От основы она отделена зоной термического влияния толщиной 5...6 мкм, условную границу которой определяли по зернам осветленного перлита. По объему зоны легирования на разной глубине наблюдаются крупные включения, видимые на шлифе после химического травления как темные области. По-видимому, они образуются вследствие незавершенного перемешивания расплава на поверхности стали после внесения в него частиц меди и бора и последующей самозакалки.

Микротвердость поверхности в случае электровзрывного боромеднения с массой порошка  $m = 20 \text{ мг}$  монотонно падает с глубиной. Ее максимальные значения на поверхности при  $q$ , равных 5,5, 6,5 и 7,5  $\text{ГВт/м}^2$ , достигают 950, 1250, 1100 НВ, соответственно. Повышение микротвердости и на поверхности, и в объеме является следствием образования упрочняющих борсодержащих фаз. Глубина зоны легирования с ростом  $q$  увеличивается от 12 до 27 мкм. Это коррелирует с увеличением шероховатости поверхности. Увеличение массы порошка бора вызывает повышение микротвердости в тонком приповерхностном слое, толщина которого увеличивается с ростом  $q$  от 3 мкм при  $q = 5,5 \text{ ГВт/м}^2$  до 15 мкм при  $q = 7,5 \text{ ГВт/м}^2$ . При этом общая глубина упрочнения увеличивается от 15...20 мкм при  $q = 5,5 \text{ ГВт/м}^2$  до 25...30 мкм при  $q = 7,5 \text{ ГВт/м}^2$ . Такой характер влияния интенсивности термосилового воздействия на распределение микротвердости по глубине можно связывать с увеличением глубины зоны легирования и интенсивности конвективного перемешивания расплава в процессе обработки.

Таким образом установлено, что электровзрывное боромеднение приводит к упрочнению поверхности стали 45 в отожженном состоянии. Упрочнение происходит вследствие формирования градиентной мелкодисперсной структуры, включающей твердые растворы и бориды  $\text{FeB}$ ,  $\text{Fe}_2\text{B}$ ,  $\text{Fe}_{23}(\text{C}, \text{B})_6$ ,  $\text{B}_4\text{C}$ .

Работа выполнена при финансовой поддержке грантами РФФИ (проекты №№ 08-02-00024-а, 10-07-00172-а) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009...2013 гг. (гос. контракт № П332).